

8 鳥取県における降水成分調査について (第3報)

【大気騒音科】

栗村幸子・洞崎和徳・山田裕平
佐藤白

1 はじめに

大気汚染の一形態である酸性雨現象は、地球規模の環境問題として、社会的な関心を集めている。その影響としては、湖沼や土壌の酸性化による水棲生物の死滅、森林の衰退等が挙げられるが、これらの影響評価、汚染対策のためには、酸性雨の実態を把握する必要があり、全国的にモニタリング調査が行われている。

当所でも、昭和62年度から県下4地点で降水成分調査を実施している。平成4年度について調査結果をまとめたので報告する。

2 調査地点及び調査方法

調査地点を図1に示す。

衛生研究所 鳥取市松並町2-470 (東部)
郡家保健所 八頭郡郡家町郡家40 (山間部)
倉吉保健所 倉吉市東巖城町2 (中部)
米子保健所 米子市西福原444 (西部)



図1 調査地点

調査は、酸性雨等調査マニュアル(環境庁)に準拠した方法で行った。降水の採取には、環境庁仕様酸性雨ろ過式採取装置を用い、水溶性成分については鳥取、郡家で1週間、倉吉、米子で1ヶ月間、不

溶性成分については4地点とも1ヶ月間を単位として試料の回収、測定を行った。調査項目及び測定方法を表1に示す。

表1 調査項目及び測定方法

区分	測定項目	測定方法	
ろ過式採	pH	ガラス電極法	
	EC	導電率法	
	SO ₄ ²⁻	イオンクロマト法	
	NO ₃ ⁻	〃	
	Cl ⁻	〃	
	NH ₄ ⁺	インドフェノール法	
	Ca ²⁺	原子吸光法	一部イオンクロマト法
	Mg ²⁺	〃	
	K ⁺	炎光光度法	
	Na ⁺	〃	
器	降下物量	重量法	
	Ca ²⁺	原子吸光法	
	Mg ²⁺	〃	
	K ⁺	炎光光度法	
	Na ⁺	〃	

3 調査結果及び考察

平成4年度の降水成分の分析結果を表2-1及び表2-2に示す。水溶性成分の分析結果のうち、年平均値は各調査地点の月毎のデータの加重平均値である。

(1) 降水量

各調査地点の月別降水量を図2に示す。鳥取地方気象台監修鳥取県気象月報によると、平成4年度の特徴は、次のようであった。6月7日に梅雨入りしたものの、梅雨前線の活動が弱かったため、6月は県西部・東部ともかなり降水量が少なく、鳥取、米子では平年の40~60%であった。西部では7月もかなり少なかった。9月も平年の30~50% (鳥取、

表2-1 水溶性成分分析結果

採取場所	採取年 月	降水量 mm	pH	EC μS/cm	SO ₄ μg/ml	NO ₃ μg/ml	Cl μg/ml	NH ₄ μg/ml	Ca μg/ml	Mg μg/ml	K μg/ml	Na μg/ml	nss SO ₄ μg/ml	nss Ca μg/ml
鳥取市	92-4	102.8	4.82	31.9	2.77	1.32	4.49	0.45	0.68	0.35	0.14	2.42	2.16	0.59
	92-5	84.2	4.38	36.2	3.59	1.61	2.55	0.37	0.54	0.23	0.13	1.28	3.27	0.49
	92-6	64.6	4.52	34.9	3.50	2.35	2.60	0.88	0.48	0.23	0.13	1.42	3.14	0.43
	92-7	151.6	4.62	16.6	1.84	1.01	0.39	0.45	1.13	0.04	0.04	0.22	1.78	0.12
	92-8	118.1	4.64	28.4	1.89	0.72	3.79	0.17	0.22	0.27	0.12	1.91	1.41	0.15
	92-9	27.9	4.34	56.6	4.14	1.84	7.09	0.43	1.01	0.53	0.22	4.26	3.07	0.85
	92-10	213.0	5.38	27.6	1.79	0.68	4.96	0.53	0.28	0.35	0.16	2.81	1.08	0.17
	92-11	136.4	4.64	58.0	3.17	0.83	10.92	0.32	0.49	0.73	0.27	5.49	1.79	0.28
	92-12	167.1	4.37	101.1	5.93	1.58	17.67	0.51	0.60	1.27	0.54	11.41	3.07	0.17
	93-1	194.7	4.31	79.7	4.79	1.49	13.52	0.52	0.50	0.95	0.41	7.67	2.86	0.21
	93-2	121.7	4.48	103.0	6.37	1.67	19.59	0.73	0.80	1.49	0.53	10.95	3.62	0.38
	93-3	87.2	4.37	66.4	4.54	1.60	10.50	0.69	0.51	0.82	0.32	5.83	3.08	0.29
	最高値	213.0	5.38	103.0	6.37	2.35	19.59	0.88	1.01	1.49	0.54	11.41	3.62	0.85
最低値	27.9	4.31	16.6	1.79	0.68	0.39	0.17	0.13	0.04	0.04	0.22	1.08	0.12	
平均値	122.4	4.53	54.8	3.63	1.27	8.83	0.49	0.47	0.64	0.27	5.05	2.37	0.28	
郡家町	92-4	104.2	5.13	24.4	2.64	1.16	3.09	0.47	0.69	0.25	0.11	1.56	2.25	0.63
	92-5	125.0	4.71	23.7	2.79	1.09	1.51	0.59	0.34	0.13	0.10	0.79	2.59	0.31
	92-6	70.5	4.47	28.5	2.78	1.95	1.58	0.67	0.35	0.13	0.07	0.85	2.57	0.32
	92-7	211.7	5.02	10.0	1.24	0.71	0.18	0.44	0.21	0.01	0.05	0.08	1.22	0.21
	92-8	130.5	6.34	17.4	1.06	0.39	3.24	0.14	0.76	0.21	0.08	1.58	0.66	0.70
	92-9	50.0	4.95	30.2	2.65	0.97	4.31	0.43	0.68	0.31	0.17	2.28	2.08	0.59
	92-10	231.8	5.08	21.0	1.28	0.42	3.59	0.22	0.26	0.24	0.10	1.93	0.80	0.19
	92-11	117.6	4.78	31.0	2.03	0.74	4.80	0.28	0.29	0.32	0.10	2.52	1.40	0.19
	92-12	112.0	4.67	54.2	3.44	1.04	9.30	0.51	0.40	0.62	0.27	5.36	2.09	0.20
	93-1	234.5	4.43	46.7	3.04	0.92	7.06	0.51	0.28	0.54	0.19	3.90	2.06	0.13
	93-2	176.6	4.48	62.6	4.38	1.32	9.37	0.72	0.59	0.79	0.31	5.71	2.95	0.37
	93-3	103.5	4.70	44.4	3.73	1.36	6.77	0.70	0.66	0.53	0.22	3.78	2.78	0.52
	最高値	234.5	6.34	62.6	4.38	1.95	9.37	0.72	0.76	0.79	0.31	5.71	2.95	0.70
最低値	50.0	4.43	10.0	1.06	0.39	0.18	0.14	0.21	0.01	0.05	0.08	0.66	0.13	
平均値	139.0	4.73	32.7	2.49	0.92	4.65	0.46	0.42	0.35	0.15	2.59	1.84	0.32	
倉吉市	92-4	91.7	5.56	28.0	3.39	1.40	3.56	0.59	1.05	0.31	0.17	1.77	2.95	0.98
	92-5	92.2	4.63	26.7	3.33	1.79	1.83	0.55	0.68	0.16	0.15	0.94	3.09	0.64
	92-6	62.7	5.16	21.1	2.22	1.49	2.23	0.55	0.53	0.19	0.12	1.19	1.92	0.48
	92-7	116.9	4.83	13.4	1.70	1.23	0.37	0.51	0.14	0.03	0.08	0.16	1.66	0.13
	92-8	150.3	4.67	24.6	1.73	0.70	3.39	0.24	0.18	0.23	0.08	1.91	1.25	0.11
	92-9	61.3	5.64	36.3	2.63	1.11	6.77	0.43	0.87	0.43	0.22	3.54	1.74	0.74
	92-10	107.6	6.83	43.4	2.18	0.61	4.66	2.80	0.32	0.37	0.57	2.83	1.47	0.21
	92-11	114.4	4.83	55.3	3.05	1.51	10.88	0.32	0.53	0.76	0.26	5.43	1.69	0.32
	92-12	156.0	4.42	66.0	4.10	1.55	10.29	0.66	0.35	0.78	0.35	5.60	2.69	0.14
	93-1	221.4	4.36	53.6	3.07	1.02	8.62	0.56	0.39	0.63	0.19	4.69	1.89	0.21
	93-2	127.6	4.61	68.4	4.86	1.39	10.30	0.79	0.90	0.91	0.36	6.95	3.12	0.64
	93-3	97.5	5.02	68.3	5.75	1.93	12.21	0.91	1.28	0.94	0.34	6.80	4.04	1.02
	最高値	221.4	6.83	68.4	5.75	1.93	12.21	2.80	1.28	0.94	0.57	6.95	4.04	1.02
最低値	61.3	4.36	13.4	1.70	0.61	0.37	0.24	0.14	0.03	0.08	0.16	1.25	0.11	
平均値	116.6	4.68	44.6	3.19	1.27	6.69	0.73	0.55	0.51	0.24	3.74	2.25	0.40	
米子市	92-4	142.6	6.86	35.0	3.32	1.34	3.52	0.34	3.14	0.31	0.18	1.99	2.82	3.06
	92-5	79.6	4.81	27.4	3.76	1.80	2.19	0.61	1.05	0.21	0.12	1.06	3.49	1.01
	92-6	59.9	4.94	31.9	3.03	1.41	4.53	0.22	0.97	0.36	0.13	2.25	2.47	0.88
	92-7	81.1	4.99	15.2	2.25	1.29	0.52	0.46	0.59	0.06	0.09	0.25	2.19	0.58
	92-8	135.5	4.92	24.3	1.70	0.88	3.61	0.17	0.44	0.25	0.10	2.05	1.19	0.36
	92-9	89.3	4.74	32.2	2.48	0.87	5.10	0.14	0.63	0.35	0.14	2.45	1.87	0.54
	92-10	170.3	4.63	44.4	2.83	1.21	7.25	0.24	0.51	0.49	0.17	3.57	1.93	0.37
	92-11	77.2	4.59	82.0	5.66	1.74	15.44	0.42	1.15	1.10	0.38	7.91	3.66	0.85
	92-12	122.9	4.37	101.5	7.31	3.01	18.10	0.73	1.08	1.31	0.52	9.65	4.89	0.71
	93-1	209.2	4.37	72.5	5.23	1.85	10.30	0.71	0.81	0.91	0.30	5.90	3.75	0.59
	93-2	159.4	4.63	82.8	6.58	2.20	14.06	1.00	1.15	1.14	0.41	7.90	4.60	0.85
	93-3	82.8	4.44	69.4	5.17	1.83	11.08	0.44	0.99	0.90	0.34	6.20	3.61	0.75
	最高値	209.2	6.86	101.5	7.31	3.01	18.10	1.00	3.14	1.31	0.52	9.65	4.89	3.06
最低値	59.9	4.37	15.2	1.70	0.87	0.52	0.14	0.44	0.06	0.09	0.25	1.19	0.36	
平均値	117.5	4.63	54.6	4.24	1.65	8.44	0.49	1.06	0.66	0.25	4.56	3.09	0.89	

(注) 1 nss SO₄ : 非海洋由来硫酸イオン、nss Ca : 非海洋由来カルシウムイオン

2 鳥取市、郡家町については、1週間のデータの加重平均値である。

表2-2 不溶性成分分析結果

採取場所	採取年月	採取日数	dust mg/月	Ca μg/ml	Mg μg/ml	K μg/ml	Na μg/ml
鳥 取 市	92-4	28	49.00	0.90	13.77	6.49	1.46
	92-5	28	27.00	0.69	6.38	4.27	0.88
	92-6	35	31.90	0.84	4.85	2.34	1.83
	92-7	35	18.40	1.46	3.07	1.58	0.59
	92-8	28	14.30	1.34	2.14	0.75	0.33
	92-9	28	36.20	6.37	5.46	1.55	2.02
	92-10	35	39.90	2.32	5.52	1.72	1.05
	92-11	28	20.70	2.38	5.00	2.10	1.10
	92-12	28	24.00	1.55	5.15	2.68	0.37
	93-1	35	14.30	1.21	3.69	1.99	0.67
	93-2	28	45.70	1.86	12.97	5.07	0.96
	93-3	25	24.80	1.55	4.24	2.52	1.24
		最 高 值		49.00	6.37	13.77	6.49
	最 低 值		14.30	0.69	2.14	0.75	0.33
	平 均 值		28.85	1.87	6.02	2.76	1.04
郡 家 町	92-4	28	45.70	1.71	12.75	6.43	1.20
	92-5	28	30.10	0.69	6.12	4.50	0.94
	92-6	35	17.70	0.34	3.50	3.92	0.49
	92-7	35	26.50	46.00	3.58	2.05	0.88
	92-8	28	17.50	16.81	1.92	0.93	0.48
	92-9	28	36.20	4.42	4.36	1.85	0.78
	92-10	35	17.10	1.38	3.14	2.08	0.73
	92-11	28	20.10	2.30	3.69	2.78	0.96
	92-12	28	21.80	1.58	4.50	2.12	0.34
	93-1	35	19.30	1.24	4.61	2.49	0.48
	93-2	28	39.30	2.19	7.52	3.75	0.83
	93-3	25	41.30	2.90	6.40	3.03	0.99
		最 高 值		45.70	46.00	12.75	6.43
	最 低 值		17.10	0.34	1.92	0.93	0.34
	平 均 值		27.71	6.80	5.09	2.99	0.76
倉 吉 市	92-4	24	73.80	1.12	20.40	8.42	1.93
	92-5	31	36.50	0.56	5.36	3.92	0.91
	92-6	30	24.50	1.25	4.05	1.81	1.43
	92-7	33	17.40	2.40	2.58	1.23	0.67
	92-8	29	17.20	3.62	1.65	1.00	0.35
	92-9	30	26.90	4.97	3.41	2.03	0.72
	92-10	34	100.00	3.16	4.32	3.39	1.12
	92-11	27	19.00	2.42	3.59	1.98	0.60
	92-12	35	17.00	1.09	3.56	1.99	0.31
	93-1	27	16.70	9.21	2.99	1.60	0.46
	93-2	29	38.40	3.95	10.72	3.94	0.60
	93-3	37	82.40	13.82	16.49	6.50	1.23
		最 高 值		100.00	13.82	20.40	8.42
	最 低 值		16.70	0.56	1.65	1.00	0.31
	平 均 值		39.14	3.96	6.59	3.15	0.86
米 子 市	92-4	36	117.10	131.00	38.00	12.81	2.40
	92-5	26	36.90	1.28	6.38	2.81	0.88
	92-6	30	21.00	1.84	3.83	2.81	0.78
	92-7	33	21.20	3.52	4.21	1.23	1.09
	92-8	28	19.20	1.54	3.00	1.39	0.82
	92-9	32	17.70	2.06	3.32	1.44	0.55
	92-10	31	21.60	1.86	6.28	3.73	1.19
	92-11	29	17.30	2.06	5.10	3.12	1.25
	92-12	35	26.70	1.98	7.70	3.59	0.50
	93-1	27	49.00	6.60	8.60	5.03	0.91
	93-2	28	33.10	1.43	11.63	5.14	1.16
	93-3	32	28.90	2.78	6.49	2.57	1.27
		最 高 值		117.10	131.00	38.00	12.81
	最 低 值		17.30	1.28	3.00	1.23	0.50
	平 均 值		34.13	13.16	8.71	3.81	1.07

米子)の少ない降水量であった。10、11、12月に東部でやや多かったものの、特に降水量が目立って多い月はなかった。年間降水量は、気象台の調査で、鳥取1771mm、米子1472mmで平年と比べて80~90%であった。(平年値の統計期間1961-1990)

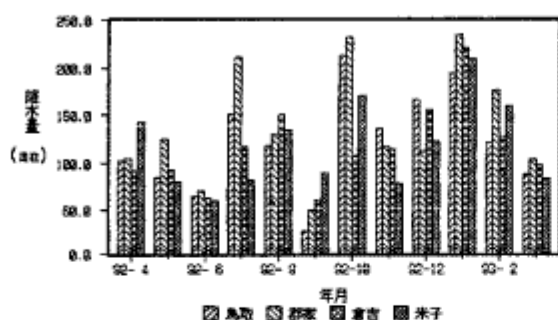


図2 地点別月間降水量の推移

(2) pH

pHの地点別経月変化を図3に示す。地点毎に多少の差異があるが、概ね4月が高めで、冬季12~2月が低めの傾向であった。4月が高めなのは、中国大陸からの黄砂現象の影響が考えられる。なお、8月、10月にpHが高い地点があるが、採取期間中に周辺での塗装工事や、採取ろ過部への多数の虫の死骸の混入があり、pHの上昇に寄与していると推測される。

過去5年間の地点別年間平均値を表3に示す。経年的に横ばい状況である。

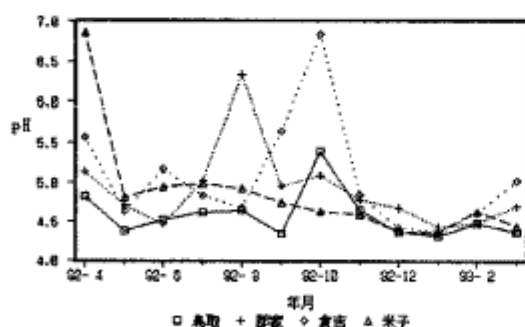


図3 pHの経月変化

表3 pHの地点別年間平均値の推移

	S. 63	H. 1	H. 2	H. 3	H. 4
鳥取	4.74	4.62	4.72	4.57	4.53
郡家	4.79	4.68	4.75	4.65	4.73
倉吉	4.86	4.70	4.89	4.62	4.68
米子	5.12	4.60	4.84	4.66	4.63

(3) 導電率 (EC)

ECは、降水量の溶存イオン全量の程度を表す値であり、この地点別経月変化を図4に示す。4地点とも、4~8月に低く11~3月にかけて高かった。冬季12~2月においては、鳥取が最も高く、次いで米子、倉吉、郡家の順に低くなっており、海岸からの距離に対応すると考えられる減衰がみられる。

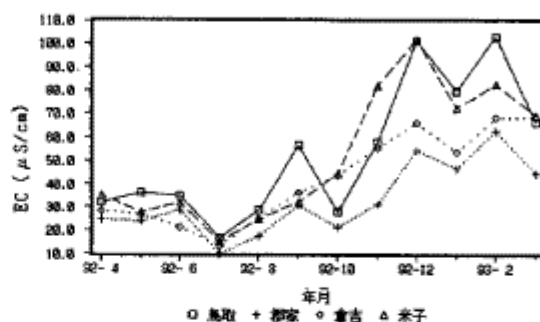


図4 ECの経月変化

(4) イオンバランス

データの質をイオンバランスによって検討した。降水試料は電氣的に中性であるため、陽イオンの総和と陰イオンの総和は当量濃度で等しくなる。図5に測定した陽イオンと陰イオンの総濃度の関係を示した。濃度が高くなるにつれ、多少ばらつきがみられるが、概ね1:1のバランスがとれており妥当なデータといえる。

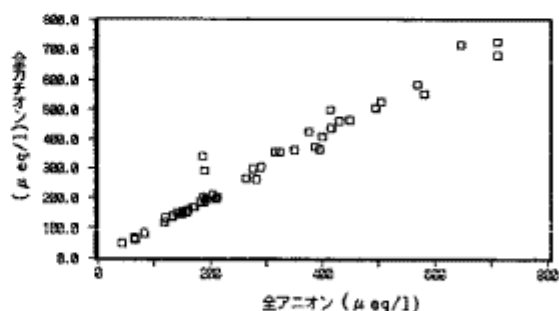


図5 イオンバランス

(5) 海塩指標

人為的起源をもつ成分の降水量を把握するためには、降水中の成分における海塩粒子の寄与を正確に推定し、これから、非海洋由来成分の量を算出することが必要である。表2-1では、降水中の Na^+ を全て海塩由来であるとみなし、指標として、非海洋由来の nss SO_4^{2-} 、 nss Ca^{2+} を算出している。

この方法の妥当性を確かめるために、降水試料中

の Na^+ 、 Cl^- 濃度の散布図を作成したところ、図6のように、海水中の Na^+ 、 Cl^- の組成比とほぼ一致した。従って Na^+ は、海塩の指標として妥当である。

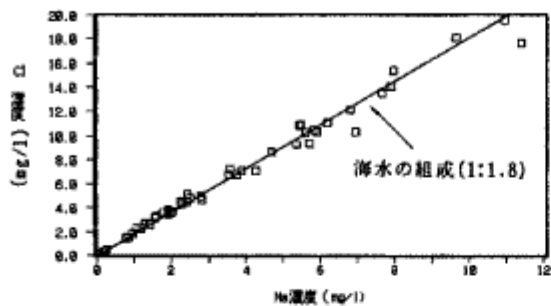


図6 降水中のNa濃度とCl濃度の関係

(6) 平均化学組成とpHに寄与するイオン

各地点の降水の年間平均化学組成を図7に示す。陽イオン、陰イオンを分けて示し、 Ca^{2+} と SO_4^{2-} 部分の破線は、海洋由来(右側)、非海洋由来(左側)を区切るものである。 Mg^{2+} 、 K^+ が、概ね海洋由来とすると、おおまかに破線の右側が海洋由来成分、左側が非海洋由来成分とみることができる。これにより海洋由来成分は、全量70~80%を占めることがわかる。

$\text{NO}_3^-/\text{nssSO}_4^{2-}$ 平均当量比は0.4~0.45であり、酸性化への寄与は、硫酸が硝酸の2~2.5倍である。

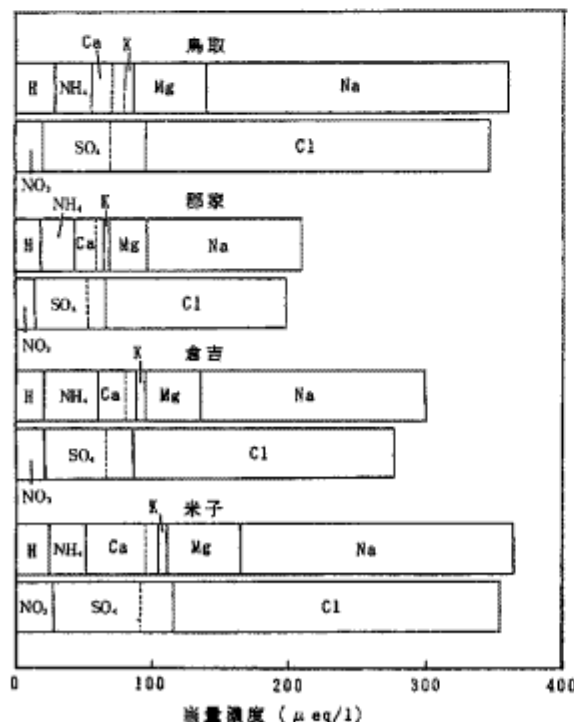


図7 年間の平均化学組成

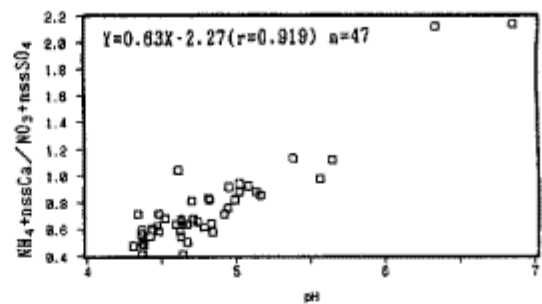


図8 pHと $\text{NH}_4+\text{nssCa}/\text{NO}_3+\text{nssSO}_4$ 当量濃度比の関係

酸の中和に働く NH_4^+ 、 Ca^{2+} について $\text{NH}_4^+/\text{nssCa}$ 平均当量比は、米子で0.6と nssCa^{2-} の相対的な寄与が大きかったが、他の地点では1.6~2で NH_4^+ の寄与が大きかった。

なお、 $\text{NH}_4+\text{nssCa}/\text{NO}_3+\text{nssSO}_4$ の比を考えると、この値が大きくなるほど中和がすすみpHが高くなることが予想される⁽²⁾。4地点の月毎のデータを用いた両者の関係は図8のようになり、正の相関がみられる。

(7) 主要イオン濃度の経月変化

① 海洋由来成分

主に海洋由来とみられるイオンは、同様の経月変化を示した。図9に Na^+ について示す。春季から夏季にかけては、低濃度で地点間の差はほとんどないが、冬季には大幅に上昇し地点間差が表れている。

② 非海洋由来成分

nssSO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 nssCa^{2+} の経月変化を図10に示す。これらは、概ね夏季に低く、冬季に高い傾向であった。 NO_3^- 、 nssSO_4^{2-} については、5~6月も高めであった。4種のイオン共に相対的に米子で高かった。なお、9月にみられる濃度上昇は、降水量がかなり少なかったことによると考

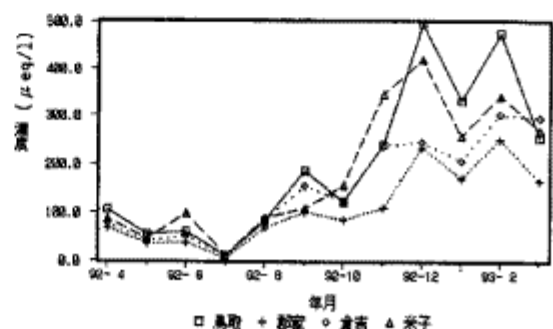


図9 Na^+ 濃度の経月変化

えられる。

(8) 水溶性及び不溶性成分降下量

図11に地点毎の水溶性成分 (nss SO₄、NO₃、NH₄、nss Ca) の月間降下量を示す。降下量は、いずれの地点も夏季に少なく、冬季に多くなっており、特にnss SO₄²⁻、次いでNO₃⁻が冬季にかなり増加している。ここで、全SO₄²⁻降下量を鳥取の例でみると、図12のように冬季にはss SO₄、

nss SO₄共に著しく多い。このことは、冬季の季節風によって、海塩の影響が大きくなると共に、大陸からのSO₄²⁻の長距離輸送の影響が出ていることを示唆する。

図13に水溶性成分と不溶性成分の月間の総降下量の推移を示す。水溶性成分については、冬季に成分濃度の増加と降水量の増加の両方によって、降下量が著しく多くなっている。不溶性成分は、4～5月、

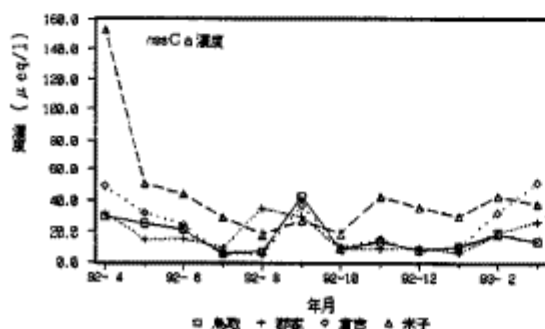
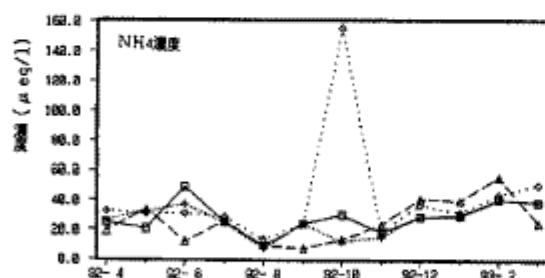
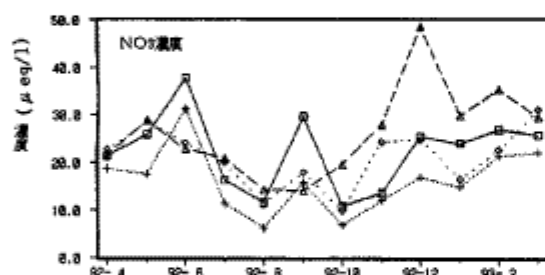
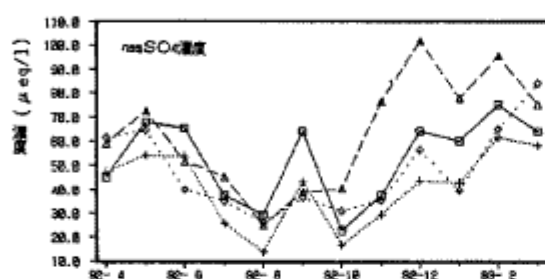


図10 nssSO₄、NO₃、NH₄、nssCa 濃度の経月変化

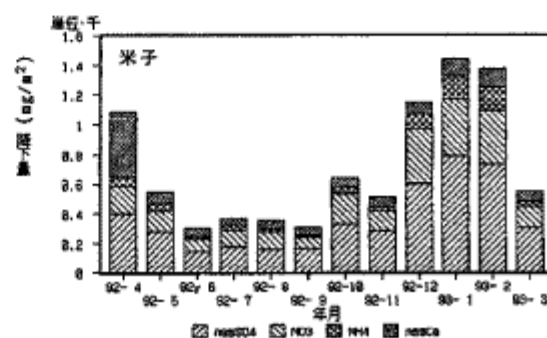
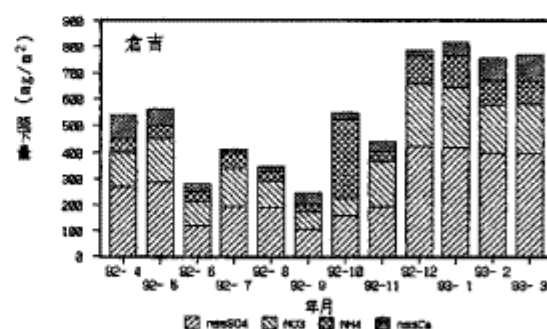
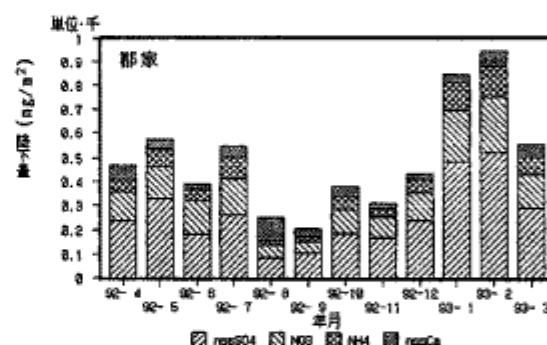
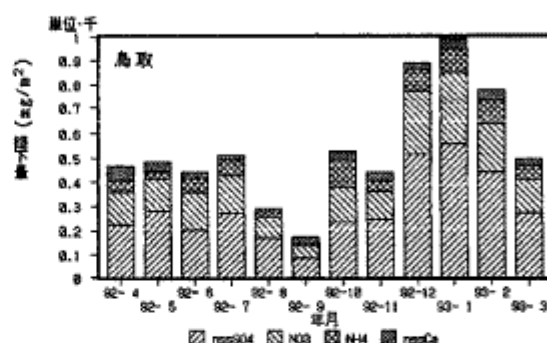


図11 地点別水溶性成分月間降下量

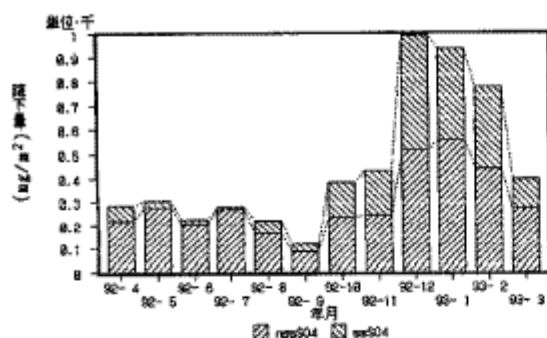


図12 SO₄²⁻ 降水量の経月変化 (鳥取)

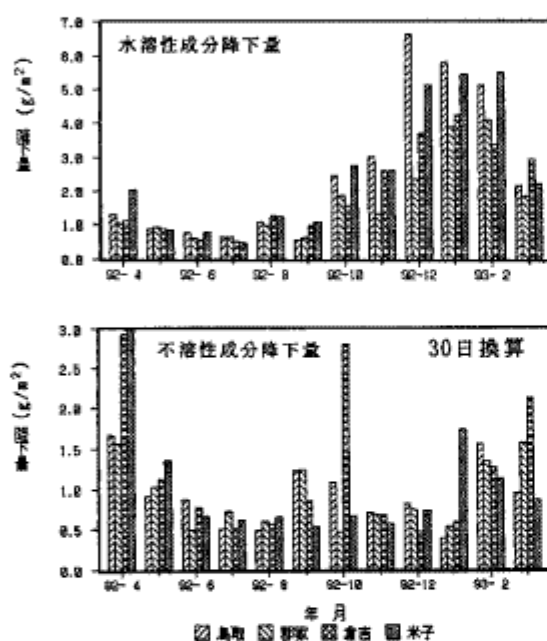


図13 水溶性成分と不溶性成分の月間降水量

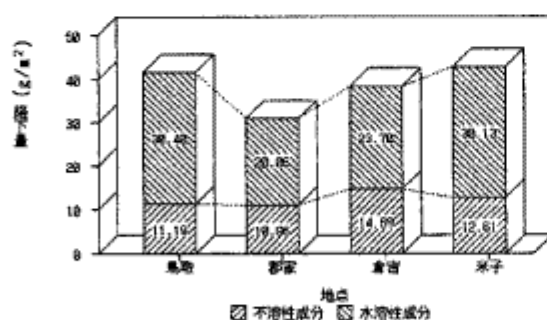


図14 地点別年間総降水量

2～3月に多くなっており、4月については黄砂の影響も考えられる。

年間の水溶性・不溶性の総降水量を図14に示す。総降水量は、鳥取、米子が同程度で、次いで倉吉、郡家の順に低くなっている。

4 まとめ

(1) 平成4年度の年間降水量は鳥取・米子で平常の80～90%であり、6月と9月が平年に比べてかなり少ないことが特徴であった。

(2) 降水のpHは、年平均で4.5～4.7であり経年的に特に変化はなく、全国的な平均レベルであった。

(3) 降水の年間の平均化学組成をみると、総イオン濃度に占める海洋由来成分の割合は、70～80%であり、酸性化への寄与は、硫酸が硝酸の2～2.5倍であった。

(4) pHとNH₄+nssCa/NO₃+nssSO₄当量濃度比には、正の相関がみられた。

(5) 水溶性成分の降水量は、春季～夏季に少なく、冬季にかなり多い。これは、冬季には海洋由来成分やnssSO₄²⁻等の濃度が著しく上昇すると共に降水量も増加するためである。

(6) 水溶性、不溶性を合わせた年間総降水量は、30～40g/m²であった。

文 献

- 1) 林田博通ほか：鳥取県における降水成分調査について、鳥取県衛生研究所報、31、73-74 (1991)
- 2) 酸性雨調査法研究会編：酸性雨調査法、280-281、ぎょうせい (1993)